

提高学校建筑抗震能力的对策建议

林树枝^{*1,2}, 李刚¹, 程耿东¹

(1. 大连理工大学 工程力学系, 辽宁 大连 116024;

2. 厦门市建设与管理局, 福建 厦门 361003)

摘要: 在对汶川地震中学校建筑震害调查的基础上, 对学校建筑在建筑选址、结构体系、抗震措施、施工质量等方面存在的问题进行了系统的分析, 并相应提出了提高学校建筑抗震能力的对策建议. 为确保大震不倒, 学校建筑应采用抗震性能好的结构体系, 宜优先选用钢筋混凝土框架结构, 限制使用砖混结构, 禁止使用预制空心楼板及预制楼梯, 禁止采用外廊悬挑式单跨建筑, 推荐采用内廊式钢筋混凝土框架教学楼方案. 本研究工作对全国中小学校建设标准的修订, 具有重要参考价值.

关键词: 汶川地震; 学校建筑; 建筑震害; 对策建议

中图分类号: TU312.3; P315 **文献标志码:** A

0 引言

学校建筑由于使用功能及采光等方面的要求, 跨度较大, 纵横两个方向刚度均较弱, 且相差较大, 地震时容易遭受破坏, 造成师生重大伤亡. 汶川地震后, 中小学校的校舍安全已引起全社会广泛关注, 如何确保学校建筑在大震时不倒塌, 并在重大意外灾害来临时可作为紧急避难场所, 已成为研究的热点. 本文在对灾区学校建筑进行震害调查的基础上, 对学校建筑在建筑选址、结构体系、抗震措施、施工质量等方面存在的问题进行分析, 并相应提出提高学校建筑抗震能力的对策建议.

1 学校建筑震害

汶川地震发生后, 受住房和城乡建设部的派遣, 作者带领 16 位专家, 组成房屋应急评估专家组, 在四川灾区进行房屋应急评估及震害调查^[1~4], 从收集到的房屋评估资料分析, 灾区的学校建筑破坏严重(图 1、2). 什邡山区有 7 所中小学校垮塌, 都江堰聚源中学两幢教学楼垮塌, 新建小学的部分教室垮塌, 北川县北川中学两栋六层高的主教学楼塌陷, 茅坝中学被滑坡体掩埋, 绵竹

市遵道镇欢欢幼儿园发生整体垮塌, 绵竹市汉旺镇东方汽轮机厂的一所中学和一所技校倒塌, 绵竹市富新镇第二中心小学、九龙镇中心小学整体坍塌, 等等. 学校建筑垮塌, 大批学生被掩埋在废墟之中, 伤亡惨重.



图 1 垮塌教学楼实例一(北川中学)

Fig. 1 Collapsed building Case 1 (Beichuan High School)



图 2 垮塌教学楼实例二(东汽中学)

Fig. 2 Collapsed building Case 2 (Dongqi High School)

在非极震区,学校建筑虽没有整体垮塌,但损坏也很严重.从江油市周边的 8 所村中小学的调查数据(表 1)也可看出,由于地震震动过于剧烈,大量房屋砖墙破裂、错位,63 栋学校建筑,有 59 栋无法继续使用,受损非常严重(图 3、4).

表 1 江油市 8 所中小学房屋受损情况

Tab.1 Damage of 8 school buildings in Jiangyou City

序号	破坏形态描述	数量/幢	比例/%
1	个别承重构件轻微裂缝,部分非承重构件明显裂缝	0	0
2	部分承重构件轻微裂缝,大部分非承重构件明显裂缝	4	6.3
3	部分承重构件明显裂缝,局部非承重构件倒塌	59	93.7
4	主体结构严重损坏	0	0
合计		63	100



图 3 破坏严重的外围护墙体(江油工业学校)

Fig.3 Severely damaged filler walls (Jiangyou Industrial School)



图 4 受损的教学用房屋顶(江油八角庙小学)

Fig.4 Damaged roof of school buildings (Bajiaomiao Primary School in Jiangyou)

2 震害分析

2.1 选址不当

学校选址在滑坡体下方,整栋校舍被滚石掩埋(图 5),或选址在断裂带上,断裂带从校区穿过,造成房屋严重破坏(图 6).

2.2 结构体系欠佳

灾区校舍大量采用横墙承重砖混结构,楼屋盖采用预制空心板(图 7),学校的空间跨度大,横

波来的时候,跨度大的结构更容易垮塌.中小学校建筑平面设计,为保证教室有良好自然采光和通风,在纵向需要布置设计大量的采光窗(大的窗户洞口,图 8),横墙承重属单向承重,纵向没有足够的刚度,纵向薄弱导致在地震作用下纵向倒塌(图 9).



图 5 被滚石毁坏的学校(北川茅坝中学)

Fig.5 Ruins caused by rolling stones (Maoba High School in Beichuan)



图 6 穿过校区的断裂带(白鹿镇中心小学)

Fig.6 Surface rupture zone through school (Bailu Primary School)

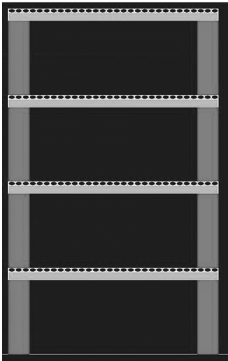


图 7 预制预应力空心楼板

Fig.7 Precast hollow slab



图 8 纵向刚度偏小的横墙承重砖混结构

Fig.8 Masonry structure with weak longitudinal stiffness



图 9 由纵向薄弱引起的纵向倒塌
Fig. 9 Damage due to poor longitudinal stiffness

灾区学校建筑多采用外廊式单跨多层砖房(图 10)或单跨框架(图 11),这类结构体系震害较重(图 12),抗震规范已限制采用单跨建筑. 但该类房屋在灾区中小学教学用房中仍广泛采用,在这次地震中,普遍发生了不同程度的震害,少量工程破坏相当严重,已接近倒塌.



图 10 破坏严重的单跨外廊式建筑
Fig. 10 Damaged single-span building with outer corridor



图 11 单跨钢筋混凝土框架教学楼
Fig. 11 Single-span RC frame teaching building



图 12 垮塌的外廊悬挑式单跨建筑(台湾集集地震)
Fig. 12 Collapsed single-span building with outer corridor (Taiwan Jiji earthquake)

结构体系不当的情况还有:教学楼出现砖混教室与框架楼梯混用,两种结构刚度相差较大,地震时教室倒塌,楼梯间完好;砖混结构教学楼的楼梯间设置在建筑的端部,地震时楼梯间首先破坏,影响疏散逃生^[6].

2.3 抗震措施不足

根据规范要求,低烈度区可采用预制空心板,但必须在预制板周围加现浇钢筋混凝土圈梁,预制板间缝隙必须用现拌混凝土灌实,并且在板面和板缝内加拉结筋;砖墙转角处要加钢筋混凝土构造柱. 圈梁、构造柱是砖混结构重要的抗震设防措施. 砖混结构由砖或砌块砌筑而成,材料呈脆性,其抗剪、抗拉和抗弯强度较低,因此抗震性能较差,破坏呈脆性破坏. 设有圈梁、构造柱等抗震措施,可以大大提高砖混结构的延性,在强烈地震作用下,虽然也会破坏,但有一定的延性,不至于倒塌. 但是在灾区,许多砖混结构教学用房并没有设置圈梁、构造柱(图 13),或用砖垛代替构造柱(图 14). 这类房屋,当遭遇烈度较高的地震时,很容易发生瞬间倒塌.



图 13 没有设构造柱的教室震害
Fig. 13 Classroom damage due to lack of tie-column



图 14 用砖垛替代的构造柱
Fig. 14 Brick column instead of tie-column

2.4 施工存在问题

现场发现不少施工质量问题:预制空心板叠合没有强度的面层,增加荷重(图 15);砌筑砂浆标号低,饱满度不够(图 16);预制空心板没有严格进行进场检验,许多不合格的预制空心板进入施工工地;施工时,预制空心板没有按要求进行拉

结,胡子筋被敲平(图 17);板间没有灌缝和拉接的预制空心板,很容易开裂,甚至塌落。



图 15 面层强度很低的预制空心板
Fig. 15 Precast hollow slab covered with low strength layer



图 16 没有粘接力的砌筑砂浆
Fig. 16 Poor quality of masonry mortar



图 17 没有拉结的预制空心板
Fig. 17 Precast hollow slab without tying

在现场还发现其他施工质量问题,如混凝土采用鹅卵石作粗骨料,没有级配;钢筋混凝土构件中夹杂砖头、牛皮纸;抗震缝填塞木条等不可压缩材料,地震时出现建筑物相互碰撞(图 18);箍筋间距太大,等等。



图 18 建筑物碰撞
Fig. 18 Knock of partitions between buildings

3 对策建议

震害调查表明,20 世纪 90 年代后,严格按抗震规范进行设计,且施工质量好的学校建筑,基本可做到大震不倒。特别是经过正规设计院专门进行抗震设计、并达到抗震要求的房屋,破坏较轻。采用抗震性能较好的结构体系的房屋,破坏也较轻。除个别位于断裂带上的学校外,绝大多数建筑受到中等至严重破坏,但不倒塌,达到了“小震不坏,中震可修,大震不倒”三水准的抗震设防目标。因此,为了提升学校建筑的抗震能力,应重视学校选址、结构体系的选择及抗震概念设计,加强结构整体牢固性的设计,提高建筑的抗连续倒塌能力^[6]。

3.1 学校选址

在汶川地震中,部分学校建筑由于处于不利的地形或者位于易发生地质灾害的山脚而遭受比直接灾害更为严重的破坏。因此,在工程建设之前,应事先做好城市建设用地的适宜性评价。在规划选址中,应避开地质灾害易发地段,避开地震危险地段、滑坡体、悬崖边及崖底、风口、泥石流和洪水沟口等。对已经存在的边坡和高挡墙,应有监控措施。

3.2 结构体系

今后,在中小学校建筑的设计中,应充分吸取这次地震的教训,在结构体系上做较大的调整。学校建筑应采用抗震性能好的结构体系,限制采用外廊式单跨多层砖房或外廊式单跨钢筋混凝土框架,禁止使用预应力预制空心楼板和预制楼梯,优先采用现浇钢筋混凝土楼屋面板;外廊式单跨框架方案,可在外廊的外侧边增设一排钢筋混凝土柱,使结构横向大梁成为三点支承,变单跨为多跨体系;大空间校舍宜采用全现浇的钢筋混凝土框架结构;高烈度区推荐采用内廊式框架教学楼方案(图 19),这种方案无论是横向框架还是纵向框架,均可做到塑性铰首先在梁上出现(图 20、21),能明显改善构件的延性,提高结构的抗震能力。

参照国外的做法,在抗御重大意外灾害时,学校应设计成周边地区的紧急避难疏散场所。因此,学校建筑应按重点设防类进行设防。为了达到这一目标要求,主体结构还可采用轻钢框架-支撑结构,墙体可采用轻质、保温隔热板,楼板和屋面板可采用轻质板,减轻结构自重(图 22)。

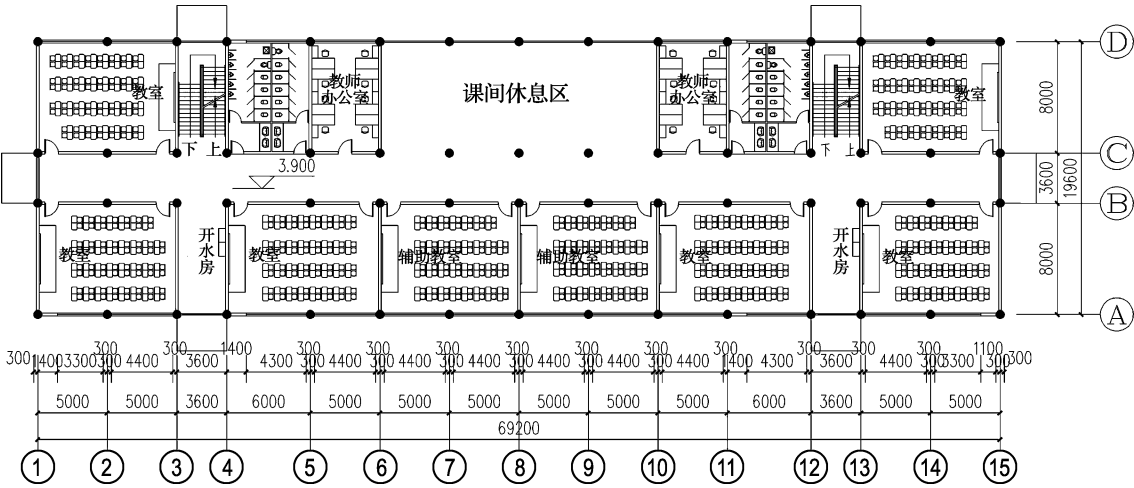


图 19 内廊式钢筋混凝土框架教学楼方案
Fig. 19 RC frame teaching building with inner corridor

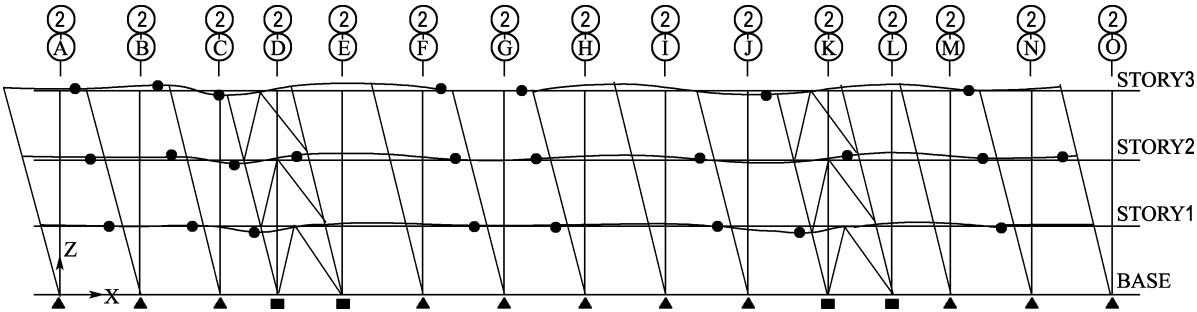


图 20 纵向框架
Fig. 20 Longitudinal framework

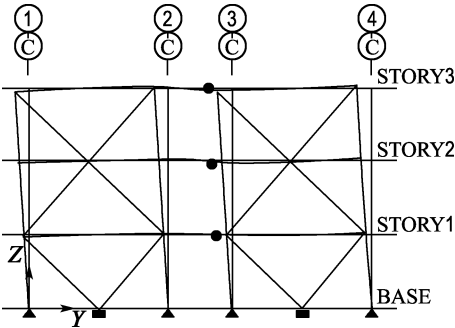


图 21 横向框架
Fig. 21 Transverse framework

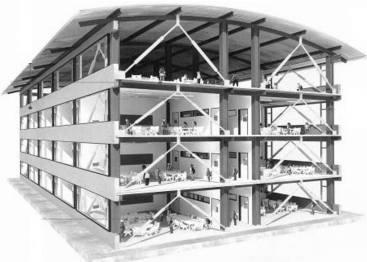


图 22 轻钢框架-支撑结构
Fig. 22 Braced structure with light steel frame

3.3 抗震概念设计

由于地震的不可预测性,建筑物有可能遭到比当地抗震设防规定的可以预估的“大震”更大的地震袭击.在不可预估的地震作用下,学校建筑不应出现连续倒塌.加强建筑抗连续倒塌和整体牢固性的设计,是实现这个目标的重要手段.

教学楼应选择对防止结构连续倒塌有利的结构体系,增加结构的冗余度,保证多条荷载传递路径.合理进行结构布置,避免出现结构的薄弱部位.降低构件内力(轴压比、剪压比等),保证结构的总体稳定及局部稳定.

大跨度教学用房不宜采用砖混结构,但若经济欠发达地区,仍要采用砖混结构,则横向承重墙应适当加厚,并增设混凝土构造柱,以增强抗侧能力.若还采用外廊式,则走廊宽度要加宽,应不小于 2 100 mm,并在外廊外侧边增设一排钢筋混凝土柱,禁止外廊悬挑;纵向窗间墙应增设断面较大的钢筋混凝土构造柱.层层设置环状封闭圈梁.

走廊宽度不足,楼梯间牢固性不够,在地震时

影响师生逃生,教训十分深刻.应避免楼梯间设置在建筑物的端部,设计时楼梯间应参与整体计算,并有足够的抗震构造措施,使楼梯间比建筑的其他部位有更强的整体牢固性.框架楼梯的填充墙体,应有可靠的拉结措施,避免地震时倒塌,阻塞疏散通道.

4 结 论

- (1)学校建设用地应事先进行适宜性评价,避开地质灾害易发地段及地震危险地段.
- (2)学校建筑应按防御各类重大意外灾害的相关规范要求进行设计和施工,加强建筑抗连续倒塌和整体牢固性的设计.
- (3)建筑结构应采用抗震性能好的结构体系.教学用房宜优先采用框架结构,推荐采用轻钢框架-支撑结构.
- (4)限制采用砖混结构.欠发达地区,若仍采用砖混结构,必须严格按抗震规范的要求,设置圈

梁、构造柱,并有可靠的拉结措施.在抗震设防区,严禁使用预制空心楼板及预制楼梯.

(5)禁止采用外廊悬挑式单跨建筑,推荐采用内廊式框架教学楼方案.

参考文献:

[1] 林树枝. 汶川地震灾区房屋抗震加固及设计的几点建议[J]. 工程抗震与加固改造, 2008, 30(4):83-87

[2] 林树枝. 汶川地震灾区学校建筑的震害分析[J]. 福建建筑, 2008(10):63-66

[3] 林树枝,廖文彬. 汶川地震灾区部分房屋的施工质量管理分析[J]. 福建建筑, 2008(10):66-69

[4] 林树枝,张鹏程. 汶川大地震后城乡防灾和救灾探讨[J]. 福建建筑, 2008(10):72-75

[5] 王亚勇,王言诃. 汶川大地震建筑震害启示[J]. 建筑结构, 2008, 38(7):1-6

[6] 叶列平,曲哲,陆新征,等. 提高建筑结构抗地震倒塌能力的设计思想与方法[J]. 建筑结构学报, 2008, 29(4):42-50

Countermeasures and suggestions for enhancing seismic capacity of school buildings

LIN Shu-zhi^{*1,2}, LI Gang¹, CHENG Geng-dong¹

(1. Department of Engineering Mechanics, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;
2. Xiamen Construction and Administration Bureau, Xiamen 361003, China)

Abstract: Based on the investigation on damaged buildings during Wenchuan earthquake, the existing problems of school buildings which have a great influence on the seismic capacity are systemically analyzed, such as construction site, structure system, seismic fortification measures, construction quality, etc. Countermeasures and suggestions are proposed accordingly for enhancing the seismic capacity of school buildings. In order to make sure non-collapse for major earthquakes, the structure system with better seismic capacity should be used for school buildings. RC frame structures are better than that of masonry structures. Single span multilayer brick-house with outer corridor or single span frame structure must be limited, and precast hollow slab or precast stair must be forbidden. Inner corridor RC braced frame school buildings are recommended to use in high intensity zones. This research will benefit to the revision of the national standard for school buildings.

Key words: Wenchuan earthquake; school buildings; seismic damages in buildings; countermeasures and suggestions